

**Semiconductor photo-detector converting light into electric current****Publication number:** DE19621965**Publication date:** 1997-12-04**Inventor:** MARSO MICHEL DR (DE)**Applicant:** KERNFORSCHUNGSANLAGE JUELICH (DE)**Classification:****- international:** H01L31/108; H01L31/102; (IPC1-7): H01L31/101; H01L21/20; H01L21/3215; H01L21/363**- european:** H01L31/108B**Application number:** DE19961021965 19960531**Priority number(s):** DE19961021965 19960531**Report a data error here****Abstract of DE19621965**

The light impinges orthogonally against the substrate surface from top or bottom, and the conversion or absorption layer is laterally contacted. The electric field in the absorption layer is parallel to the substrate surface. The absorption paths for the impinging photons may be determined by the absorption layer thickness orthogonally to the substrate surface. The transit path for electron hole pairs, generated by light, can be determined by the absorption layer width between two contacts. Preferably, the adjacent absorption layers can be separated by contact layers. Typically Si, Ge, GaAs, InP, InGaAs, diamond, III-V or II-VI semiconductors are absorption layer material.

---

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 196 21 965 A 1**

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**H 01 L 31/101**  
H 01 L 21/20  
H 01 L 21/3215  
H 01 L 21/363

②① Aktenzeichen: 196 21 965.5  
②② Anmeldetag: 31. 5. 96  
②③ Offenlegungstag: 4. 12. 97

DE 196 21 965 A 1

⑦① Anmelder:  
Forschungszentrum Jülich GmbH, 52428 Jülich, DE

⑦② Erfinder:  
Marso, Michel, Dr., 52428 Jülich, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
EP 06 51 448 A1  
J. E. Bowers et al, HIGH-SPEED ZERO-BIAS  
WAVEGUIDE PHOTODETECTORS, in ELEKTRONICS  
LETTERS, 22 (1986), 22 (1986) 905;  
JP 03-180076 in Patents Abstracts of Japan, E-1129,  
Nov. 6, 1991, Vol. 15 /No. 434;  
JP 03-239379 in Patents Abstracts of Japan, E-1157,  
Jan. 21, 1992, Vol. 16/ No. 23;

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Photodetektor und Verfahren zu seiner Herstellung

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Bauelement auf Halbleiterbasis zur Umwandlung von Licht in elektrischen Strom, insbesondere Photodetektor, bei welchem das Licht im wesentlichen senkrecht zur Substratoberfläche von oben oder von unten in das Bauelement eindringt. Dabei ist die Umwandlungs- oder Absorptionsschicht seitlich kontaktiert und das elektrische Feld in der Absorptionsschicht parallel zur Substratoberfläche ausgerichtet. Vorzugsweise ist die Absorptionsstrecke für einfallende Photonen durch die Dicke der Absorptionsschicht senkrecht zur Substratoberfläche gegeben, und der Transitweg für die vom Licht generierten Elektronen-Loch-Paare durch die Breite der Absorptionsschicht zwischen zwei Kontakten bestimmt.

DE 196 21 965 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 10. 97 702 049/332

10/25

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Bauelement, insbesondere einen Photodetektor, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Des weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zu seiner Herstellung gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 10.

Photodetektoren werden eingesetzt zur Umsetzung von Lichtsignalen in elektrische Signale, z. B. in der optischen Nachrichtenübertragung. Zur Erzielung hoher Übertragungsraten sollen diese Detektoren möglichst schnell sein. Außerdem erhält man mit solchen Detektoren bei ansteigender Empfindlichkeit die Möglichkeit zunehmend längere Übertragungsstrecken ohne Signalverstärkung zu überwinden.

Bei den modernen Halbleiterdetektoren beispielsweise des Types einer pin- oder MSM (Metal-Semiconductor-Metal)-Diode wird mit Hilfe einer vergleichsweise dicken Absorptionsschicht für das zu detektierende Licht eine hohe Lichtempfindlichkeit des Detektors erreicht. Dabei erzeugen die einfallenden Photonen in der Absorptionsschicht Elektronen-Loch-Paare, welche den lichtinduzierten Strom bilden.

Ein Maß für die Empfindlichkeit des Detektors ist die Quanteneffizienz  $\eta$ . Sie gibt die Anzahl erzeugter Elektronen-Loch-Paare pro einfallendes Photon an. Es gilt folgende mathematische Beziehung für den Zusammenhang dieser Quanteneffizienz mit der Absorptionsstrecke  $d$  und der wellenlängenabhängigen Eindringtiefe  $l_d$  der Photonen:

$$\eta = 1 - \exp(-d/l_d)$$

Dabei wird die Absorptionsstrecke  $d$  in Richtung des Lichteinfalls bestimmt.

Beim konventionellen pin- oder MSM-Detektor mit Lichteintritt von oben oder von unten durch das Substrat ist die Dicke der absorbierenden Schicht gleich der Absorptionsstrecke  $d$  (Fig. 1). Die Geschwindigkeit eines Photodetektors wird einerseits von unvermeidlichen Kapazitäten und ohmschen Widerständen, andererseits von der Transitzeit der erzeugten Ladungsträger begrenzt. Dabei ist die Transitzeit die Zeit, während der die Ladungsträger den absorbierenden Schichtbereich durchdringen. Bei den konventionellen Detektoren entspricht die Transitlänge der Dicke der Absorptionsschicht, die Transitzeit ist also proportional zur Absorptionsschichtdicke  $d$ . Eine Erhöhung der Grenzfrequenz durch vergleichsweise dünner Ausbildung der Absorptionsschicht hat somit eine geringere Quanteneffizienz zur Folge, und umgekehrt. Aus [1] erhält man die mathematische Beziehung wonach das Produkt aus Grenzfrequenz und Quanteneffizienz eine material- und wellenlängenabhängige Größe, jedoch unabhängig von der Dicke der Absorptionsschicht für die oben erwähnten konventionellen Detektoren bildet.

Aus J. E. Bowers and C. A. Burrus: "High-Speed Zero-Bias Waveguide Photodetectors", Electronics Letters 22, 905 (1986) ist es bekannt, die Entkopplung von Transitzeit und Absorptionsstrecke dadurch zu erreichen, daß das Licht seitlich in den Detektor eingestrahlt wird. Die Absorptionsstrecke wird demzufolge parallel zur Bauelementoberfläche bestimmt, während die Transitlänge durch die Dicke der Absorptionsschicht senkrecht zur Oberfläche gegeben ist.

Es ist deshalb Aufgabe der Erfindung ein Bauelement, insbesondere einen Photodetektor auf Halbleiterbasis zu schaffen, bei welchem die Transitzeit der photogene-

rierten Ladungsträger unabhängig von der Absorptionsstrecke ist. Außerdem soll der Detektor ein höheres Produkt von Grenzfrequenz und Quanteneffizienz aufweisen. Es ist außerdem Aufgabe der Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Bauelementes bereitzustellen.

Die Aufgabe wird gelöst durch ein Bauelement gemäß der Gesamtheit der Merkmale nach Anspruch 1. Die Aufgabe wird ferner gelöst durch ein Verfahren gemäß der Gesamtheit der Merkmale nach Anspruch 10. Weitere zweckmäßige oder vorteilhafte Ausführungsformen oder Varianten finden sich in den auf jeweils einen dieser Ansprüche rückbezogenen Unteransprüchen.

Es wurde erkannt, daß beim erfindungsmäßigen Gegenstand das Licht senkrecht zur Substratoberfläche von oben oder von unten in den Detektor eintritt, wie bei den konventionellen Bauelementen. Dies hat den Vorteil einer existierenden einfachen Technologie, um das Licht über Glasfaser in das Bauelement einzukoppeln. Das elektrische Feld in der Absorptionsschicht, welches die Trennung der erzeugten Elektronen-Loch-Paare erzeugt, liegt parallel zur Oberfläche. Damit sind wie bei der bekannten Methode mit seitlicher Einstrahlung Absorptionsstrecke und Transitlänge voneinander entkoppelt und die für konventionelle Bauelemente mit Einstrahlung senkrecht zur Oberfläche geltende Grenze für das Produkt aus Quanteneffizienz und Grenzfrequenz nicht gegeben.

Es wurde erkannt, beim erfindungsmäßigen Gegenstand die absorbierende Schicht seitlich zu kontaktieren. Auf diese Weise wird erreicht, daß die Transitstrecke erzeugter Ladungsträger unabhängig von der Schichtdicke der Absorptionsschicht ist. Im Gegensatz dazu weisen die bekannten Detektoren eine Absorptionsschicht auf, die entweder von oben (MSM) oder von oben und unten (pin) kontaktiert ist und folglich die Abhängigkeit dort sehr wohl gegeben ist.

Die Erfindung ist im weiteren an Hand von Figur und Ausführungsbeispiel näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 Aufbau einer pin-Diode und MSM-Diode;

Fig. 2 Schichtaufbau des erfindungsgemäßen Bauelements;

Fig. 3 unterschiedliche Verfahrensweisen zur Herstellung eines erfindungsgemäßen Bauelements;

Fig. 4 unterschiedliche Kontaktgeometrien für die Kontaktzonen.

## Ausführungsbeispiel

In der Fig. 2 ist die erfindungsgemäße die Detektorfunktion bildende Schichtenfolge im senkrechten Querschnitt gezeigt. Das erfindungsgemäße Bauelement weist dabei einen einzigen Bereich oder mehrere Bereiche aus Absorptionsmaterial auf. In dieser Darstellung erscheinen diese Bereiche rechteckig. Einerseits wird durch die Wahl der Höhe eines solchen Bereichs die Absorptionsstrecke, durch die Wahl der Breite eines solchen Bereichs die Transitstrecke für die erzeugten Ladungsträger festgelegt. An den seitlichen Flächen befindet sich das Kontaktmaterial. Der Lichteintritt kann von oben oder von unten durch das Substrat in das Absorptionsmaterial erfolgen.

Als Absorptionsmaterial eignet sich zum Beispiel ein undotierter oder ein dotierter Halbleiter, insbesondere Si, Ge, GaAs, InGaAs, InP, oder II-VI-Halbleiter. Als Kontaktmaterial kann ein hochdotierter p- und/oder n-Halbleiter des gleichen Materials wie die Absorp-



tionsschicht oder anderes Halbleitermaterial gewählt werden. Auch ein Metall oder im Fall eines Silicium-Detektors ein Metall-Silizid kann als Kontaktmaterial geeignet sein. Je nach Kombination gewählter Materialien kann ein Photodetektor auf der Basis einer pn-, pin- oder MSM-Diode gebildet werden.

Aus der Fig. 3 sind verschiedene alternative oder auch kumulative Verfahrensweisen zur Herstellung des erfindungsgemäßen Detektors dargestellt:

1. Implantation von hochdotierten p- und/oder n-Kontaktschichten in eine Absorptionsschicht (Fig. 3a);
2. Implantation eines Metalls in eine Absorptionsschicht und nachfolgende Silizidierung zur Herstellung des oder der Silizid-Kontakten (Fig. 3b);
3. Ätzung senkrechter Gräben in die Absorptionsschicht und Auffüllen dieser Gräben mit dotiertem Halbleitermaterial durch selektive Epitaxie (Fig. 3c);
4. Herstellung einer strukturierten Kontaktschicht und Auffüllen dieser Gräben mit Absorptionsmaterial mittels selektiver Epitaxie (Fig. 3d);
5. Ätzen senkrechter Gräben in eine Absorptionsschicht oder Herstellung eines oder mehrerer rechteckförmigen Absorptionsschichtbereiche mittels selektiver Epitaxie und Kontaktieren der Seiten mit metallischem Material, beispielsweise durch Aufdampfen oder Aufputtern, durch Abscheiden aus der Gas- oder Flüssigphase oder durch Galvanisieren.

Ein in seiner Einfachheit vorteilhaftes Verfahren ist das Ätzen von Gräben in eine Absorptionsschicht und anschließendes Metallisieren, wobei die Ätzmaske gleichzeitig als Maske beim Metallisieren verwendet werden kann. Um eine vergleichsweise gute Bedeckung der Seitenflächen bei tiefen, schmalen Gräben zu erreichen kann das Metallisieren vorzugsweise aus der Gasphase erfolgen. Sehr vorteilhaft kann es sein das Aufdampfen durch einen gekippten Aufdampfstrahl, welcher seine Richtung zeitlich ändert, zu erzielen (Fig. 3e).

Alle genannten Verfahren funktionieren auch bei der Wahl gleichen Materials für sowohl das Substrat als auch für die Absorptionsschicht.

Die Form der Kontaktgräben, von oben auf die Schichtoberfläche gesehen, kann streifenförmig oder fingerförmig oder auch beliebig ausgelegt werden. Ein vorteilhafte Formgebung zur Erzeugung einer möglichst großen aktiven Absorptionsfläche ist durch Kontaktgräben mit runder, quadratischer oder rechteckiger Struktur gegeben wie in der Fig. 4 dargestellt.

Zur Dimensionierung des Bauelementes empfehlen sich folgende Abmessungen:

Die Höhe der Absorptionsschicht richtet sich vorzugsweise nach der Eindringtiefe der zu detektierenden Photonen. Zum Beispiel beträgt die Quanteneffizienz beim dreifachen Wert der Eindringtiefe  $l_d$  bereits 95%. Vorzugsweise soll die Absorptionsschicht nicht wesentlich dicker gewählt werden, um die Zunahme der elektrischen Kapazität des Detektors mit der Absorptionsschichtdicke zu ungeeignet großen Werten hin zu vermeiden.

Die Breite  $b$  der Absorptionsschicht bestimmt die Transitstrecke und damit die Transitzeit der generierten Ladungsträger. Sie sollte vorzugsweise möglichst klein sein, so daß hohe Grenzfrequenzen erreicht werden. Die elektrische Kapazität des Detektors steigt mit kleinerer

Breite der Absorptionsschicht. Es ist dabei zweckmäßig die Abmessungen so zu wählen, daß die Grenzfrequenz des RC-Tiefpasses, welcher sich aus der Detektorkapazität und dem Widerstand der gesamten Meßschaltung ergibt, nicht entscheidende Faktor darstellt, der die Schaltungsgeschwindigkeit des Bauelements begrenzt. Die absolute Kapazität wird außer von Dicke und Breite der Absorptionszone von der aktiven Fläche des Detektors bestimmt.

Eine weitere Grenze für die Dicke der Absorptionszone wird von der Herstellungstechnologie gesetzt, welche auch die kleinstmögliche Breite der Kontaktschicht bestimmt. Diese sollte möglichst schmal sein, um eine große effektive Fläche für das einfallende Licht zu ergeben. Auf jeden Fall muß die Breite der Absorptionsschicht kleiner sein als ihre Höhe, weil sonst konventionelle Bauelemente besser sind. Wie oben erwähnt sind absolute Zahlen nur im Zusammenhang mit der Eindringtiefe  $l_d$  der zu detektierenden Strahlung zu geben:

- Höhe der Absorptionszone  $d \sim 3 \cdot l_d$
- Breite Absorptionszone  $b < \text{Höhe Absorptionszone } h$
- Breite der Kontaktschicht  $b^*$ , so klein wie technologisch machbar und sinnvoll

Die Vorteile des erfindungsmäßigen Gegenstandes gegenüber den bekannten Detektoren besteht darin, daß die Quanteneffizienz und die Transitlänge des Bauelementes unabhängig voneinander gewählt werden können, ohne auf das bewährte Einstrahlen des Lichtes senkrecht zur Oberfläche verzichten zu müssen. Schließlich ist ein weiterer Vorteil darin gelegen, daß das erfindungsgemäße Bauelement mit bestehenden Technologieverfahren einfach und damit billig herstellbar ist.

#### Patentansprüche

1. Bauelement auf Halbleiterbasis zur Umwandlung von Licht in elektrischen Strom, insbesondere Photodetektor, bei welchem
  - das Licht im wesentlichen senkrecht zur Substratoberfläche von oben oder von unten in das Bauelement eindringt,
  - die Umwandlungs- oder Absorptionsschicht seitlich kontaktiert ist,
  - das elektrische Feld in der Absorptionsschicht parallel zur Substratoberfläche ausgerichtet ist.
2. Bauelement nach Anspruch 1, bei welchem
  - die Absorptionsstrecke für einfallende Photonen durch die Dicke der Absorptionsschicht senkrecht zur Substratoberfläche gegeben ist, und
  - der Transitweg für die vom Licht generierten Elektronen-Loch-Paare durch die Breite der Absorptionsschicht zwischen zwei Kontakten bestimmt ist.
3. Bauelement nach Anspruch 1 oder 2 mit mehreren, durch Kontaktschichten voneinander getrennten Absorptionsschichten, die nebeneinander angeordnet sind.
4. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3 mit Absorptionsmaterial aus halbleitendem Material, vorzugsweise Si, Ge, GaAs, InP, InGaAs, Diamant, III-V- oder II-VI-Halbleiter.
5. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4

mit Kontaktmaterial aus Metall oder Silizid oder dotiertem Halbleitermaterial derselben.

6. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 5 mit einer Höhe der Absorptionsschicht, die gleich dem dreifachen Wert der Eindringtiefe der zu detektierenden Photonen ist. 5

7. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6 mit einer Breite der Absorptionsschicht, die die Hälfte der Höhe dieser Schicht nicht übersteigt.

8. Bauelement nach Anspruch 6 oder 7 mit schmaler Breite der Kontaktschicht(en). 10

9. Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei welchem die Kontaktschicht(en) streifenförmig, fingerförmig, kreisrund oder rechteckig ausgebildet ist bzw. sind. 15

10. Verfahren zur Herstellung eines Bauelementes nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei welchem die Kontaktschicht(en) durch Implantation von hochdotierten p- und/oder n-Dotiermaterialien gebildet wird bzw. werden. 20

11. Verfahren zur Herstellung eines Bauelementes nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei welchem die Kontaktschicht(en) durch Implantation metallischen Materials in eine Silicium-Absorptionsschicht mit nachfolgendem Silizidieren gebildet wird bzw. werden. 25

12. Verfahren zur Herstellung eines Bauelementes nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei welchem die Kontaktschicht(en) durch selektive Epitaxie in vorher geätzte Gräben einer Absorptionsschicht gebildet wird bzw. werden. 30

13. Verfahren zur Herstellung eines Bauelementes nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei welchem die Absorptionsschicht(en) durch selektive Epitaxie in vorher geätzte Gräben in eine Kontaktschicht gebildet wird bzw. werden. 35

14. Verfahren zur Herstellung eines Bauelementes nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei welchem die Kontaktbereiche durch Aufbringen metallischen Materials in vorher geätzte Gräben in eine Absorptionsschicht gebildet werden. 40

15. Verfahren zur Herstellung eines Bauelementes nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei welchem die Kontaktbereiche durch Aufbringen metallischen Materials in vorher geätzte Gräben in eine Absorptionsschicht gebildet werden und dabei lediglich die seitliche Fläche(n) der Absorptionsschicht, vorzugsweise durch Galvanisieren, Abscheiden aus der Gas- oder Flüssigphase, Aufputtern oder Aufdampfen, metallisiert werden. 45 50

16. Verfahren zur Herstellung eines Bauelementes nach Anspruch 14 oder 15, bei welchem das metallische Material aufgedampft oder aufgesputtert wird und wobei der Strahl des metallischen Materials zur Oberfläche verkippt angeordnet ist und seine Richtung bezogen auf die Substratoberfläche zeitlich geändert wird. 55

17. Verfahren zur Herstellung eines Bauelementes nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei welchem das Ätzen der Gräben in die Absorptionsschicht mit Hilfe einer Maske erfolgt, welche auch zum strukturierten Aufbringen des Kontaktmaterials, vorzugsweise bei selektiver Epitaxie oder beim Aufbringen einer Metallschicht geeignet ist. 60

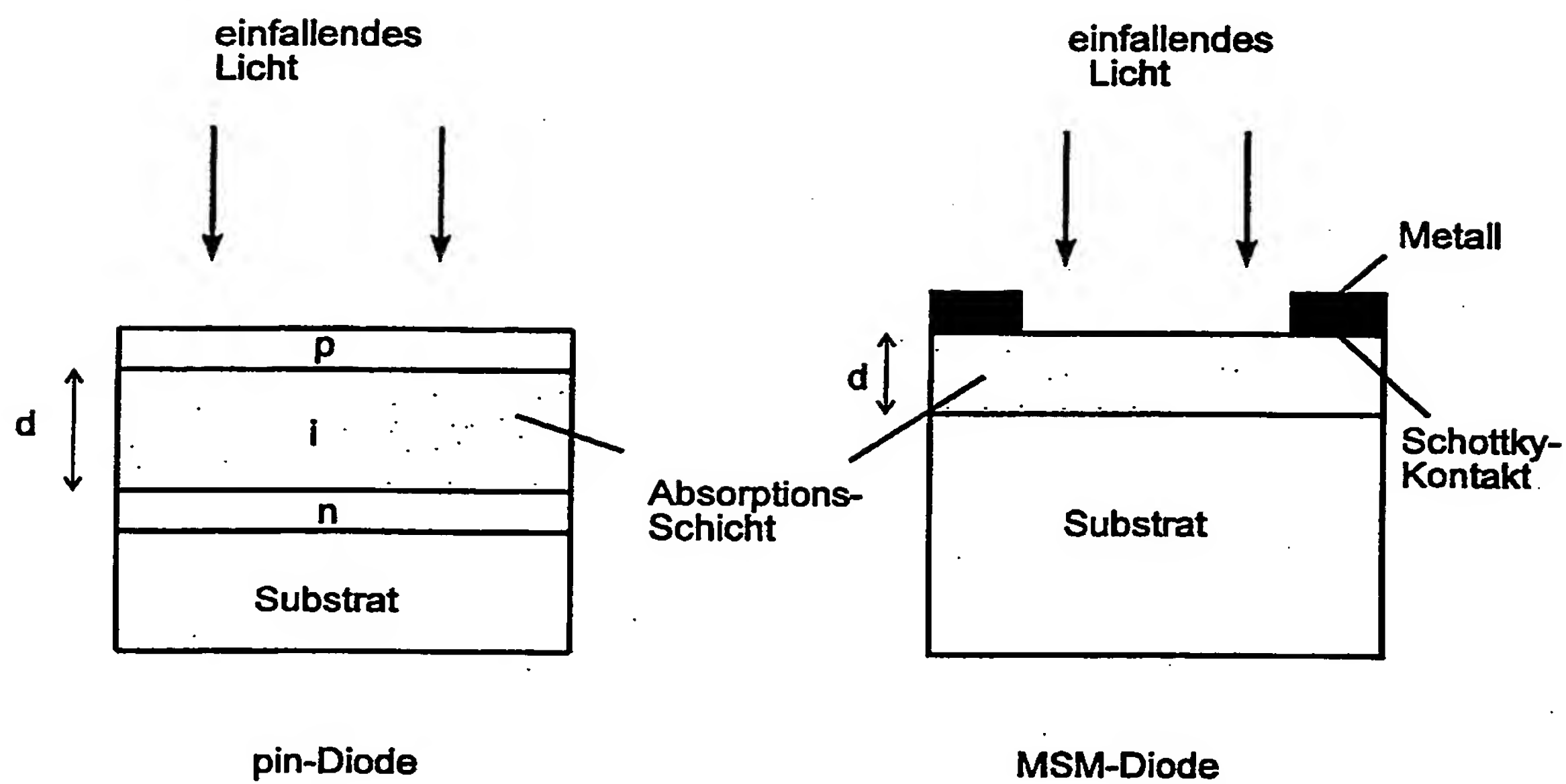


Abb. 1: Prinzipieller Aufbau des pin- und MSM-Detektors

d = Absorptionsstrecke (in Richtung des einfallenden Lichtes)

Figur 1

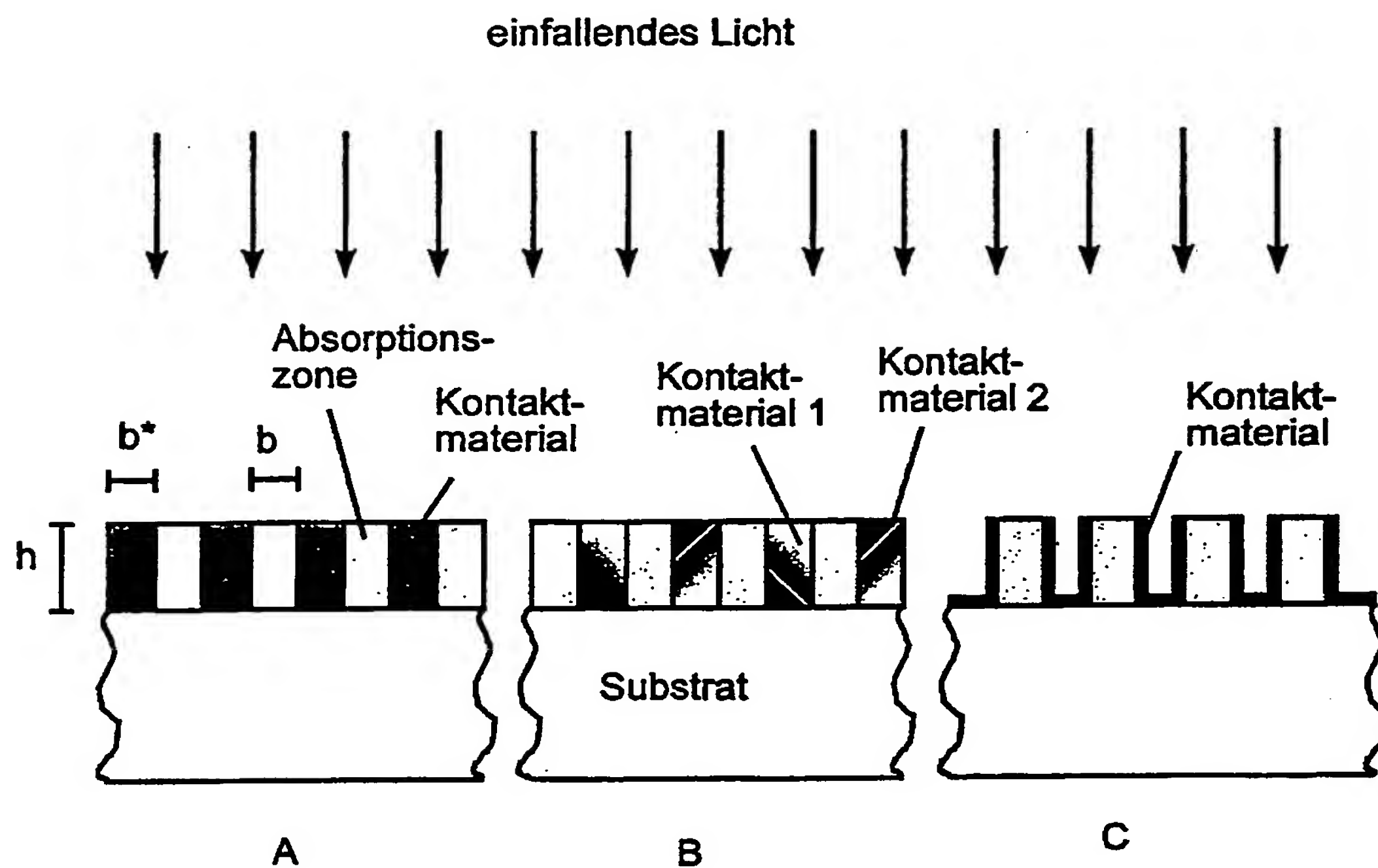


Abb. 2 Prinzip des erfindungsgemäßen Gegenstandes

h: Höhe der Absorptionszone = Absorptionsstrecke

b: Breite der Absorptionszone = Transitstrecke

b\*: Breite der Kontaktzone

A: Zwischenraum gänzlich aufgefüllt mit Kontaktmaterial

B: unterschiedliche Kontaktmaterialien, z.B. p- und n-dotierter Halbleiter

C: Kontaktmaterial nur an den Seitenflächen der Absorptionszone(n)

**Figur 2**

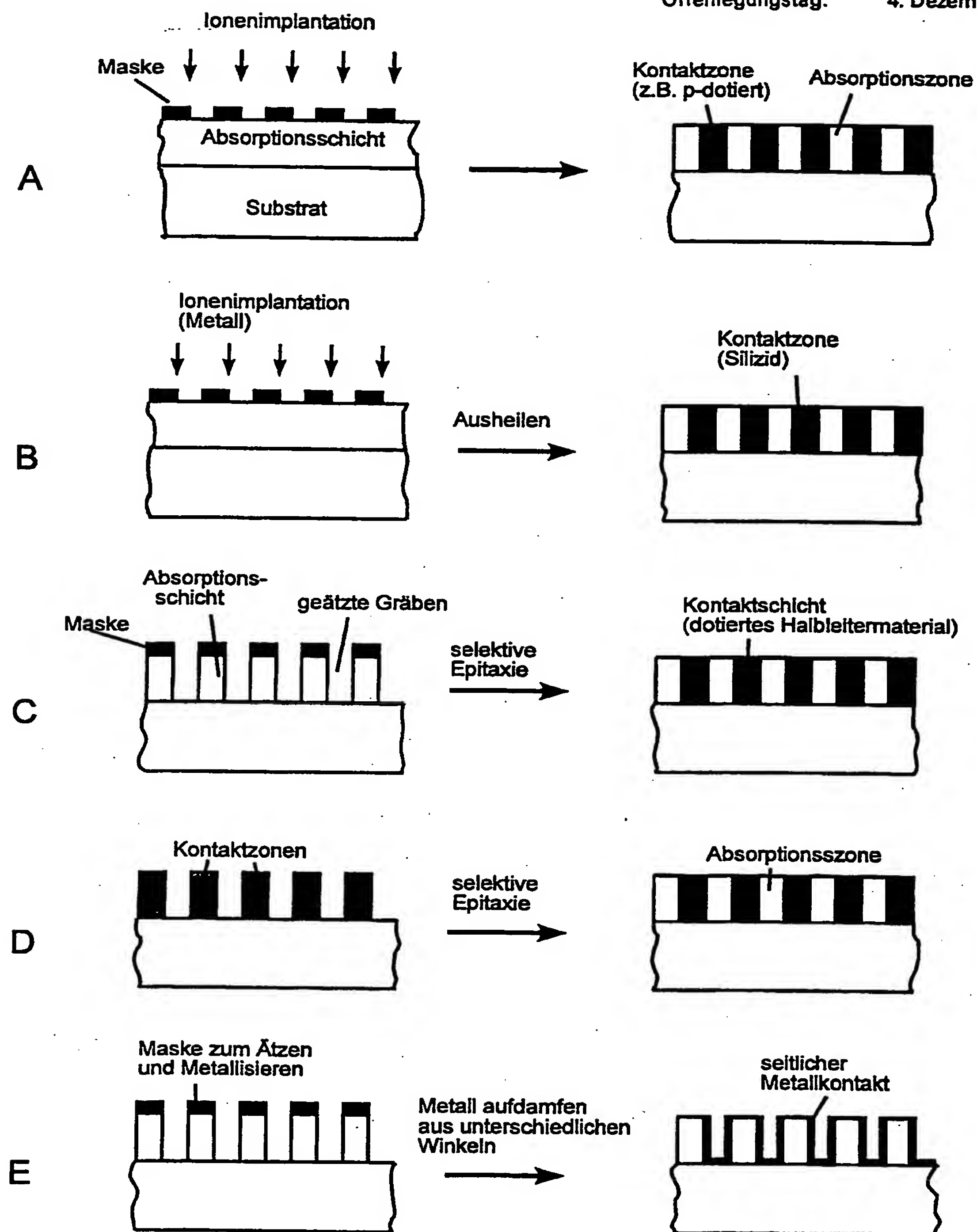


Abb. 3 Verschiedene Herstellungsverfahren für den erfindungsmäßigen Gegenstand

Figur 3



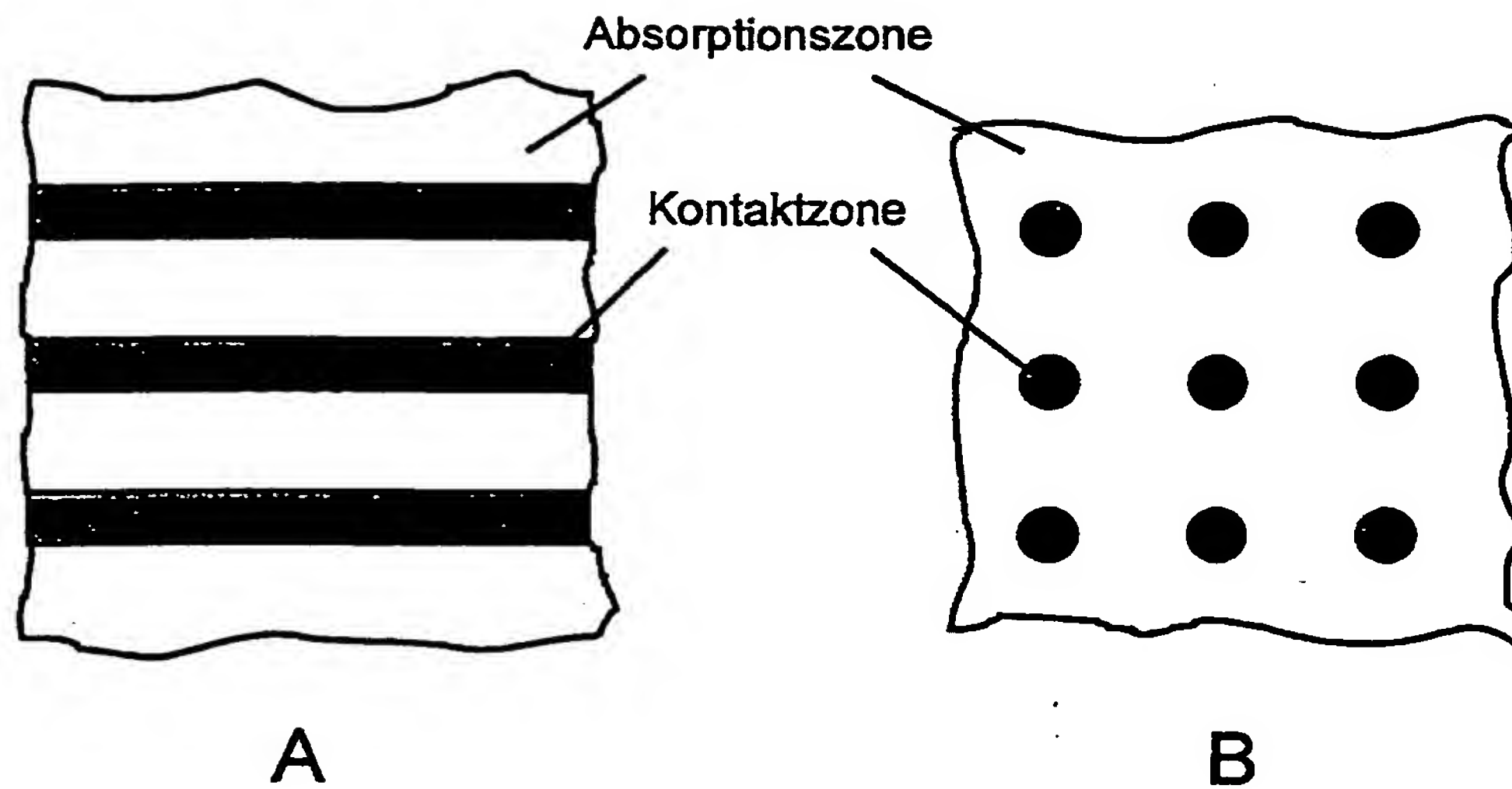


Abb. 4 Vorteilhafte Kontaktgeometrien  
Bauelement von oben betrachtet

A: Kontaktzonen streifenförmig ausgeführt  
B: Kontaktzonen kreis- oder rechteckförmig ausgeführt

**Figur 4**